

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.04.002

丙烯基弹性体和乙烯-辛烯共聚物增韧聚丙烯性能

陈禹廷, 吴建, 张勇

(上海交通大学化学化工学院, 上海 200240)

摘要: 通过熔融共混挤出制备了聚丙烯/丙烯基弹性体共混物和聚丙烯/乙烯-辛烯共聚物共混物。结果表明, 丙烯基弹性体对聚丙烯的增韧效果好于乙烯-辛烯共聚物。加入 15 份丙烯基弹性体后, 聚丙烯/丙烯基弹性体共混物的缺口冲击强度从 4.89 kJ/m^2 提高到 8.05 kJ/m^2 , 提高了 64.6%。在加入丙烯基弹性体后, 聚丙烯/丙烯基弹性体共混物的熔体流动速率最低可降至 15.0 g/(10 min) 。形貌分析表明, 聚丙烯/丙烯基弹性体共混物在断裂过程中产生更明显的塑性变形。差示扫描量热分析结果表明, 加入 15 份丙烯基弹性体后, 共混物的结晶度可保持在 40.2%。断裂有用功模型的分析结果表明, 加入 5 份丙烯基弹性体后, 聚丙烯的有限单位断裂能和耗散能密度显著增大。断裂有用功模型可以为聚丙烯的增韧研究提供理论参考。

关键词: 聚丙烯; 丙烯基弹性体; 乙烯-辛烯共聚物; 力学性能; 断裂有用功

中图分类号: TQ334.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)04-0007-07

Properties of Polypropylene Toughened by Propylene-based Elastomer and Ethylene-octene Copolymer

Chen Yuting, Wu Jian, Zhang Yong

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract : Polypropylene/propylene-based elastomer and polypropylene/ethylene-octene copolymer blends were prepared by melt blending extrusion. The results show that propylene-based elastomer have a stronger toughening effect on polypropylene than ethylene-octene copolymer. The notched impact strength of polypropylene/propylene-based elastomer blend increases from 4.89 kJ/m^2 to 8.05 kJ/m^2 , increases by 64.6% with 15 phr propylene-based elastomer added. After adding the propylene-based elastomer, the melt flow rate of the polypropylene/propylene-based elastomer blend can be reduced to a minimum of 15.0 g/(10 min) . Morphology analysis shows that more obvious plastic deformation occurs in polypropylene/propylene-based elastomer during impact process. Differential scanning calorimetry results illustrate that the crystallinity of the blend could stay at 40.2% with 15 phr propylene-based elastomer added. The analysis results of essential work of fracture model show that limiting specific fracture energy and dissipated energy density of polypropylene have a substantial increase with 5 phr propylene-based elastomer added. Essential work of fracture model can provide theoretical reference for toughening research of polypropylene.

Keywords : polypropylene ; propylene-based elastomer ; ethylene-octene copolymer ; mechanical property ; essential work of fracture

聚丙烯 (PP) 具有密度小、强度高、化学稳定性好、成本低廉等优点, 在塑料和纤维领域得到广泛应用^[1-3]。但是, PP 具有冲击强度低等缺点, 限制了其应用范围。

为改善 PP 的冲击性能, 人们采用弹性体增韧 PP。乙烯-辛烯共聚物 (POE) 是 PP 的一种有效改性剂。赵兴科等^[4]发现, 加入 25% 的 POE 后, PP

的冲击强度提高 3.14 倍, -35°C 的冲击强度提高 6 倍。Li Ke 等^[5]发现, 加入 20% 的 POE 后, PP 的冲击强度提高至 16.5 kJ/m^2 ; 加入 40% 的 POE 后, PP 的冲击强度可达到 75 kJ/m^2 。Li Chunhai 等^[6]制备了 PP/POE 交替多层共混物, 共混物的冲击强度达到 91.1 kJ/m^2 。Liang Jizhao 等^[7]研究表明, 随着 POE 含量的增加, PP/POE/纳米碳酸钙复合

通讯作者: 张勇, 教授, 研究方向为聚合物加工与改性 E-mail: yong_zhang@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2020-01-20

引用格式: 陈禹廷, 吴建, 张勇. 丙烯基弹性体和乙烯-辛烯共聚物增韧聚丙烯性能 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(4): 7-13.

Chen Yuting, Wu Jian, Zhang Yong. Properties of polypropylene toughened by propylene-based elastomer and ethylene-octene copolymer[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(4): 7-13.

材料的缺口冲击强度大幅增加。袁海兵^[8]制备了PP/POE/滑石粉复合材料,当POE含量为9%时,材料发生脆韧转变,冲击强度为18.1 kJ/m²,为未添加POE的材料的3.2倍。

埃克森美孚公司近年来研发生产了一种以丙烯为主、乙烯为辅的丙烯基弹性体(PBE)^[9]。人们将该PBE用于增韧改性PP。A. Heidari等^[10]发现,添加30%的PBE时,PP的冲击强度提高400%。Li Yi等^[11]发现,加入20%的PBE后,PP的冲击强度从5 kJ/m²提高到40 kJ/m²。Wang Xiong等^[12]发现,加入10%的PBE后,PP的冲击强度从2.0 kJ/m²提高到4.2 kJ/m²,采用扫描电子显微镜没有观测到明显的相分离。彭志宏等^[13]发现,加入PBE可以在提高PP冲击性能的同时,改善共混材料的应力发白现象。A. Pustak等^[14]制备了PP/PBE/二氧化硅复合材料,加入20%的PBE后,复合材料的冲击强度最高可达到11 kJ/m²。

笔者通过熔融共混挤出的方式制备了PP/PBE和PP/POE共混材料,表征了其力学性能和热性能。同时,采用单边缺口三点弯曲断裂测试研究了两种材料的断裂行为,使用断裂有用功模型评定了两种聚烯烃弹性体对PP的增韧效果。

1 实验部分

1.1 主要原料

PP: ExxonMobilTM 3155E3, 密度为0.900 g/cm³, 上海埃克森美孚化工公司;

PBE: VistamaxxTM 3020FL, 乙烯链段含量为11%, 密度为0.874 g/cm³, 上海埃克森美孚化工公司;

POE: SABIC POE C5070D, 密度为0.868 g/cm³, 中沙(天津)石化有限公司。

1.2 主要设备与仪器

双螺杆挤出机: ZE-25A型, 德国贝尔斯托夫公司;

注塑机: MA900 II/260型, 宁波海德机械设备有限公司;

电子拉力试验机: Instron 4465型, 美国英斯特朗公司;

摆锤冲击试验机: Instron Ceast 9050型, 美国英斯特朗公司;

熔体流动速率测试仪: RL-5型, 上海思尔达科学仪器有限公司;

差示扫描量热(DSC)仪: Q2000型, 美国TA公司;

场发射扫描电子显微镜(FE-SEM): Nova NanoSEM 450型, 美国FEI公司。

1.3 试样制备

(1) 共混材料的制备。

PP/PBE及PP/POE共混材料的配方列于表1。将PP, PBE和POE在80℃真空烘箱内干燥24 h。按照表1配方将原料的混合物加入双螺杆挤出机中熔融共混。挤出机各段温度控制在190℃, 200℃, 200℃, 200℃, 210℃。挤出的物料经水冷后于切粒机中切粒, 得到共混物粒料。

表1 PP/PBE及PP/POE共混材料配方

样品编号	PP	PBE	POE
PP	100		
PP97PBE3	97	3	
PP95PBE5	95	5	
PP90PBE10	90	10	
PP85PBE15	85	15	
PP97POE3	97		3
PP95POE5	95		5
PP90POE10	90		10
PP85POE15	85		15

(2) 拉伸、弯曲和冲击试样的制备。

将各组粒料在80℃真空烘箱内干燥24 h, 随后置入注塑机, 注射成型得到拉伸、弯曲和冲击样条, 注塑机温度设定为210℃。样条在测试前于室温下放置24 h。

1.4 性能测试与结构表征

拉伸性能按ASTM D638-2014测试, 拉伸试样尺寸为165 mm×13 mm×4 mm, 标距长度为50 mm, 拉伸速率为50 mm/min, 测试温度为室温。至少测定5个无缺陷试样, 再取平均值。

弯曲性能按ASTM D790-2017测试, 弯曲试样尺寸为80 mm×10 mm×4 mm, 压头速率为1.7 mm/min。至少测定5个无缺陷试样, 再取平均值。

缺口冲击强度按ASTM D256-2010测试, 冲击试样尺寸为80 mm×10 mm×4 mm, 带有V型缺口, 缺口深度为2 mm, 摆锤能量为1 J。至少测定5个无缺陷试样, 再取平均值。

熔体流动速率按ASTM D1238-2013测试, 温度设定为230℃, 载荷为2.16 kg。

DSC分析: 取样品5~15 mg置入DSC专用测试坩埚中制备试样。在氮气氛围下, 先以20℃/

min 的速率从室温升至 200℃,恒温 3 min 消除热历史,再以 10℃/min 的速率从 200℃降至 40℃,记录结晶曲线,最后以 10℃/min 的速率从 40℃升至 200℃,记录熔融曲线。

冲击断面形貌观察:取缺口冲击后的试样,对其断面进行喷金处理。使用 FE-SEM 观察断面的形貌。

准静态单边缺口三点弯曲断裂测试:在尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm 的冲击试样上,使用锋利的刀片沿着 V 型缺口顶端切出一定深度的预制裂纹。试样的韧带长度为 2~8 mm,如图 1 所示。使用电子拉力试验机进行三点弯曲断裂测试,压头速率为 2 mm/min,记录载荷-位移曲线。

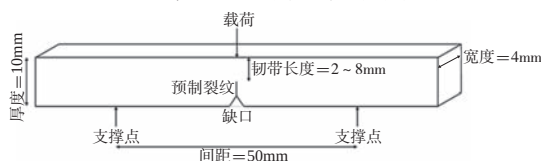


图 1 单边缺口三点弯曲试样

2 结果与讨论

2.1 力学性能分析

PP, PP85PBE15 和 PP85POE15 的拉伸应力-应变曲线如图 2 所示,不同 PBE 或 POE 含量下 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的断裂伸长率如图 3 所示。

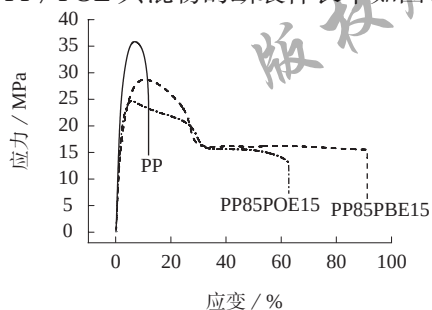


图 2 PP, PP85PBE15 和 PP85POE15 的应力-应变曲线

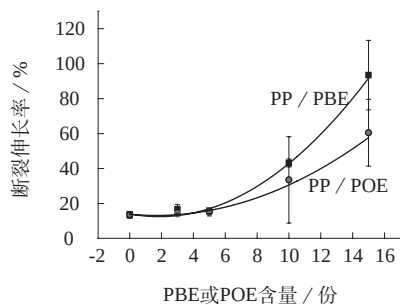
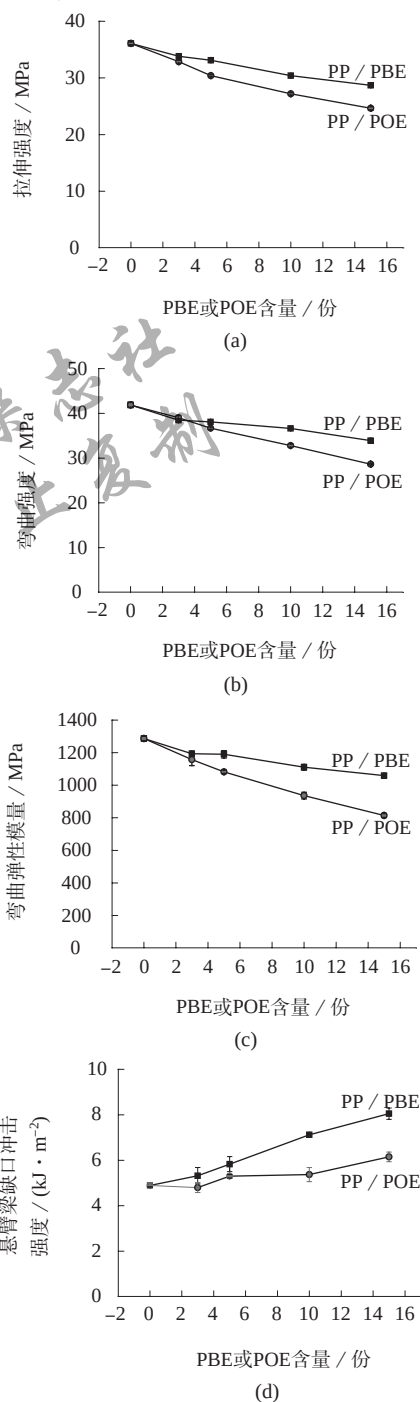


图 3 不同 PBE 或 POE 含量下 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的断裂伸长率

由图 2 和图 3 可以看出,所有共混物都存在拉伸屈服现象。纯 PP 拥有最高的屈服强度,但其在屈服后即断裂,断裂伸长率仅有 13.6%。在加入 PBE

或 POE 后,共混物的断裂伸长率增大。PP/PBE 共混物的屈服强度和断裂伸长率高于 PP/POE 共混物。加入 15 份 PBE 后,PP/PBE 共混物的断裂伸长率可提高到 93.5%。

不同 PBE 或 POE 含量下 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和悬臂梁缺口冲击强度如图 4 所示。



a—拉伸强度;b—弯曲强度;c—弯曲弹性模量;d—缺口冲击强度

图 4 不同 PBE 或 POE 含量下 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的拉伸强度、弯曲强度、弯曲弹性模量和悬臂梁缺口冲击强度

PBE 和 POE 自身为弹性体材料,其拉伸强度和弯曲强度均低于纯 PP,且两种弹性体与结晶型的 PP 共混时会破坏 PP 的规整分子链,因此两种共混物的拉伸强度和弯曲强度都低于纯 PP。由图 4 可以看出,在 PBE 或 POE 含量为 15 份时,PP/PBE 和 PP/POE 共混物的拉伸强度分别由 36.1 MPa 下降到 28.7 MPa 和 24.6 MPa;弯曲强度分别由 41.9 MPa 降至 33.9 MPa 和 28.6 MPa;弯曲弹性模量也有一定的下降。不过相比之下,在加入同等含量的 PBE 或 POE 时,PP/PBE 共混物的拉伸强度、弯曲强度和弯曲弹性模量均高于 PP/POE 共混物。而在冲击韧性方面,PP 的悬臂梁缺口冲击强度随 PBE 或 POE 含量的增加有显著的提升。加入 15 份 PBE 后,PP/PBE 共混物的缺口冲击强度从 4.89 kJ/m² 提高到 8.05 kJ/m²,提高了 64.6%。同样地,加入 15 份 POE 后,PP/POE 共混物的缺口冲击强度提高到 6.15 kJ/m²,提高 25.8%。对比可以发现,PBE 相比于 POE 可以更有效地增韧 PP。PBE 的分子链中,乙烯链段提供高弹性与韧性,丙烯链段提供与 PP 基体之间的相容性,因此 PBE 可以非常有效地提高 PP 的悬臂梁缺口冲击强度。

2.2 熔体流动速率分析

不同 PBE 或 POE 含量下 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的熔体流动速率如图 5 所示。

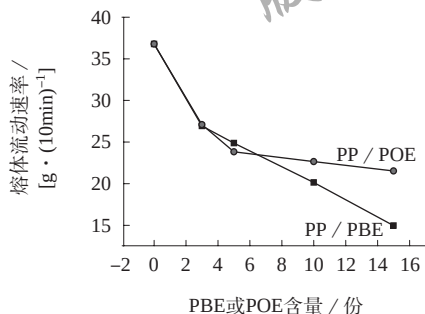


图5 不同 PBE 或 POE 含量下 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的熔体流动速率

使用的 PP 熔体流动速率为 36.8 g/(10 min)。由图 5 可以看出,随着 PBE 或 POE 含量的增加,PP/PBE 和 PP/POE 共混物的熔体流动速率不断减小。弹性体 PBE 或 POE 的加入可以有效提高 PP 的熔体强度,增加熔体的表观黏度,降低流动性。在加入 3 份和 5 份 PBE 或 POE 时,两种共混物的熔体流动速率数值相当。继续增加 PBE 或 POE 的含量时,PP/PBE 共混物的熔体流动速率下降幅度更大。加入 15 份 PBE 后,PP/PBE 共混物的熔体流动速率

降低至 15.0 g/(10 min)。这说明 PBE 可以很好地控制 PP/PBE 共混物的熔体流动速率,改善材料的加工性能。

2.3 DSC 分析

实验表明,所有 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的 DSC 曲线均只有一处熔融峰和一处结晶峰。熔融峰位于 164℃附近,而结晶峰位于 122℃附近。弹性体 PBE 或 POE 的加入不会影响 PP 的加工温度。

对熔融峰和结晶峰进行积分,得到共混物的熔融焓与结晶焓,具体数值列于表 2。由表 2 可以看出,加入 PBE 或 POE 后,PP/PBE 和 PP/POE 共混物的熔融焓与结晶焓均有所下降。弹性体 PBE 或 POE 的加入量越大,熔融焓与结晶焓越低。

表 2 PP/PBE 与 PP/POE 共混物的 DSC 分析结果

样品名称	熔融温度 / °C	熔融焓 / (J · g ⁻¹)	结晶温度 / °C	结晶焓 / (J · g ⁻¹)	结晶度 / %
PP	156.0	98.5	124.6	98.5	49.0
PP97PBE3	155.0	97.6	123.8	97.6	46.0
PP95PBE5	156.1	95.6	124.1	95.6	43.1
PP90PBE10	154.6	92.8	124.3	92.8	42.9
PP85PBE15	152.0	86.5	123.6	86.5	40.2
PP97POE3	154.1	92.8	124.7	92.8	45.3
PP95POE5	156.8	89.0	124.8	89.0	42.6
PP90POE10	156.5	86.5	124.5	86.5	39.9
PP85POE15	157.0	72.2	123.6	72.2	33.6

共混物的结晶度 (X_c) 按照公式 (1) 进行计算:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ΔH_m ——共混物的熔融焓;

ΔH_m^0 ——结晶度 100% 的纯 PP 的熔融焓,

由文献 [15] 可知, $\Delta H_m^0 = 209 \text{ J/g}$ 。

两种共混物的结晶度列于表 2。由表 2 可知,弹性体 PBE 或 POE 的加入会降低 PP 组分的规整性,使共混物的结晶度降低。在加入 10 份和 15 份 PBE 或 POE 时,PP/PBE 共混物的结晶度明显高于 PP/POE 共混物。PBE 内部存在一定的等规 PP 结晶链段,对 PP 结晶组分的规整性破坏小于 POE,使得 PP/PBE 共混物的结晶度能保持在 40% 以上。这说明 PBE 能在提高 PP 冲击性能的同时,更好地保留了 PP 原有的结晶性能和热性能。

2.4 冲击断面形貌观察

PP, PP85PBE15 和 PP85POE15 冲击断面的 SEM 照片如图 6 所示。

由图 6a 可以看出,纯 PP 材料的冲击断面是非常典型的脆性断裂形貌,其断面非常光滑,边缘清晰。未改性前的 PP 缺口冲击强度很低 (4.89 kJ/

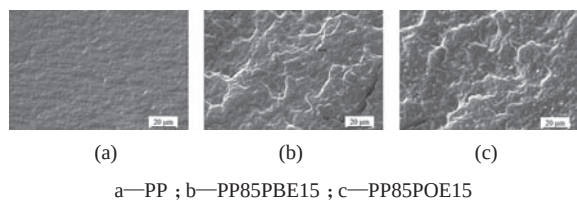


图6 PP, PP85PBE15 和 PP85POE15 冲击断面的 SEM 照片

宏观上显示为平整光滑的断裂面,且没有应力发白现象。

由图 6b 和图 6c 可以看出,在加入 15 份 PBE 或 POE 进行增韧改性后,在 PP/PBE 和 PP/POE 共混物冲击断面照片上可以观察到较多的丝状裂纹结构。宏观上,共混物的断面存在应力发白区域,且粗糙度大于纯 PP,表现出典型的韧性断裂面的特点。共混物的断面裂纹均有一定的取向性,与冲击实验的受力方向保持一致。PP/PBE 共混物的裂纹密度大于 PP/POE 共混物,这说明 PP/PBE 共混物在冲击过程中能产生更多的塑性变形,吸收更多能量,使共混物拥有更好的抗冲性能 (8.05 kJ/m^2)。

另外需要注意,在 PP85POE15 的冲击断面照片上可观察到较多的圆形凹坑。在冲击过程中,一些 POE 分散相颗粒被剥离出 PP 基体,产生凹坑。在 PP/PBE 共混物的冲击断面照片上未观察到凹坑的存在。这说明 PBE 与 PP 的相容性更好。圆形凹坑的存在也会导致 PP/POE 共混物的耐冲击性能差于 PP/PBE 共混物,这与之前的冲击实验结果一致。

2.5 准静态单边缺口三点弯曲断裂实验分析

准静态单边缺口三点弯曲断裂实验分析可以从能量分析的角度判断高分子材料的断裂韧性。在冲击试样上沿缺口切出不同深度的裂纹,使试样拥有不同的韧带长度。对试样进行三点弯曲测试,记录应力-应变曲线并对其积分,得到断裂能量。将断裂能量与韧带长度关联,分析材料的断裂有用功。断裂有用功模型的表达式如公式 (2) 所示^[16-17]:

$$U/A = u_0 + u_d l \quad (2)$$

式中: U/A ——单位面积总断裂能;

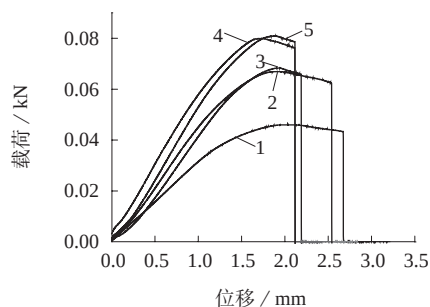
u_0 ——有限单位断裂能;

u_d ——耗散能密度;

l ——韧带长度。

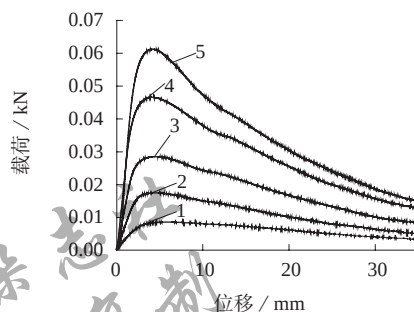
式 (2) 适用于多数的高分子材料断裂行为,根据 u_0 和 u_d 的大小评估材料的断裂韧性。

具有不同韧带长度的 PP 和 PP85PBE15 在三点弯曲断裂实验测试中的载荷-位移曲线如图 7 所示。



韧带长度: 1—3.31 mm; 2—4.28 mm;
3—4.94 mm; 4—5.33 mm; 5—6.42 mm

(a)



韧带长度: 1—1.74 mm; 2—2.93 mm;
3—4.21 mm; 4—5.49 mm; 5—5.99 mm

(b)

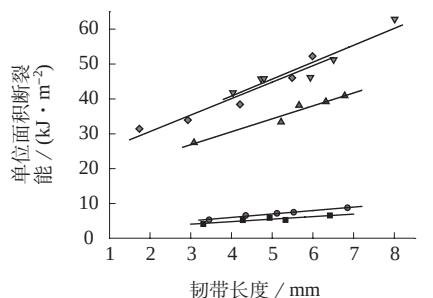
a—PP; b—PP85PBE15

图7 具有不同韧带长度的 PP 和 PP85PBE15 试样的载荷-位移曲线

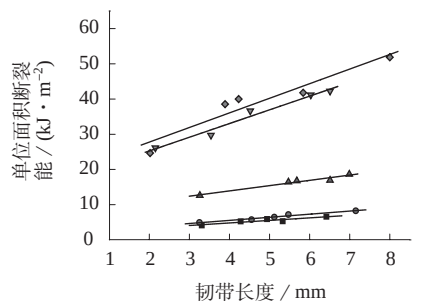
由图 7 可以看出,同一组试样在不同韧带长度下的载荷-位移曲线相似度很高,说明试样的裂纹生长过程具有几何相似性。对载荷-位移曲线进行积分得到每组试样的总断裂能。随着韧带长度的增加,试样的总断裂能逐渐增大。纯 PP 的载荷-位移曲线是明显的脆性断裂曲线,在测试开始时,试样的载荷随着位移的增加急剧增大,在达到最大载荷后,试样发生断裂,载荷迅速降低,如图 7a 所示。纯 PP 的总断裂能值较小,说明材料在断裂过程中吸收的能量较少。PP85PBE15 的载荷-位移曲线较为圆滑,在测试开始时,载荷同样随位移增加而迅速增大,在达到最大载荷后,载荷缓慢下降,如图 7b 所示。宏观上来看,PP85PBE15 的韧带断裂面出现明显的应力发白现象,显示出韧性断裂的特点。PP85PBE15 的总断裂能较大,说明加入 PBE 后,共混物的断裂过程可以吸收更多的能量。

PP/PBE 和 PP/POE 共混物的单位面积总断裂能与韧带长度的关系曲线如图 8 所示。

由图 8 可以看出,所有 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的单位面积总断裂能和韧带长度都有良好的



(a)



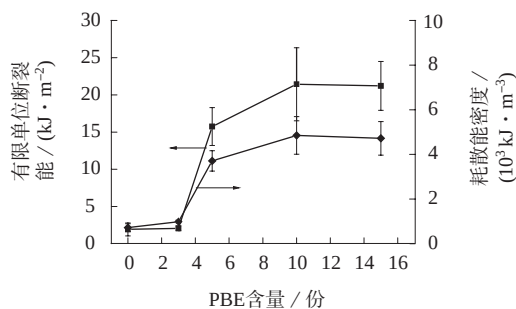
(b)

a—PP/PBE 共混物; b—PP/POE 共混物

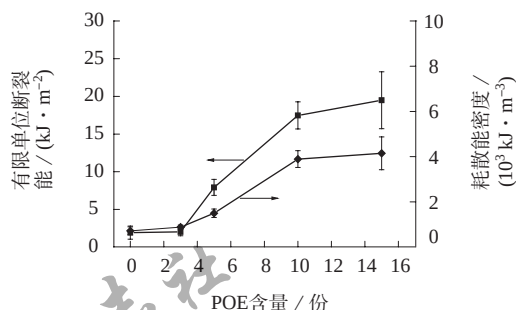
图8 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的单位面积总断裂能与韧带长度的关系曲线

线性关系,证实了断裂有用功模型的可行性。线性拟合直线的截距为材料的有限单位断裂能,而斜率为耗散能密度。PP/PBE 和 PP/POE 共混物的有限单位断裂能和耗散能密度随弹性体 PBE 或 POE 含量的变化的曲线如图 9 所示。

由图 9 可看出,两种共混物的有限单位断裂能和耗散能密度都随着弹性体 PBE 或 POE 含量的增加而增大。与缺口冲击实验相比较,三点弯曲断裂实验的加载速率很慢,仅为 2 mm/min,试样处于准静态下,更容易观测到共混物的脆-韧转变现象。对于 PP/PBE 共混物,当 PBE 含量从 3 份增加至 5 份时,材料的有限单位断裂能从 2.1 kJ/m² 提高到 15.8 kJ/m²,耗散能密度从 1.0×10^3 kJ/m³ 提高到 3.7×10^3 kJ/m³,均有显著增加。有限单位断裂能和耗散能密度的急剧增大,说明 PP/PBE 共混物发生了一个脆-韧转变的过程。加入 PBE 后,PP 在断裂过程中可生成更多裂纹,使材料吸收的能量增加,这与 2.4 节的 SEM 分析结果一致。PP/POE 共混物的脆-韧转变则出现在 POE 含量为 5~10 份范围内。比较两种共混物可知,在加入相同份数的



(a)



(b)

a—PP/PBE 共混物; b—PP/POE 共混物

图9 PP/PBE 和 PP/POE 共混物的有限单位断裂能和耗散能密度随弹性体 PBE 或 POE 含量的变化曲线

弹性体时,PP/PBE 共混物的有限单位断裂能和耗散能密度均大于 PP/POE 共混物。三点弯曲断裂测试和断裂有用功模型的分析结果说明,PP/PBE 共混物的断裂韧性高于 PP/POE 共混物,PBE 可更好地达到增韧 PP 的目的。

3 结论

(1) 弹性体 PBE 和 POE 均可有效增韧 PP。加入 PBE 和 POE 后,PP 的断裂伸长率和缺口冲击强度提高。在加入同等含量的弹性体时,PP/PBE 共混物的拉伸强度、弯曲性能和缺口冲击强度均高于 PP/POE 共混物。加入 15 份 PBE 后,PP/PBE 共混物的缺口冲击强度可提高 64.6%,这归因于 PBE 分子链中乙烯链段提供的高弹性以及丙烯链段提供的与 PP 的良好相容性。

(2) PP/PBE 共混物具有可控的熔体流动速率,加入 15 份 PBE 后,PP/PBE 共混物的熔体流动速率可降至 15.0 g/(10 min)。DSC 分析表明,加入同等含量弹性体时,PP/PBE 共混物的结晶度可保持在 40% 以上,高于 PP/POE 共混物。SEM 形貌观察表明,PP/PBE 共混物在冲击过程中产生更多的塑性变形,可吸收更多能量。

(3) 采用准静态单边缺口三点弯曲断裂实验和断裂有用功模型研究了 PP/PBE 和 PP/POE 共混

物的断裂行为。所有共混物的单位面积断裂能和韧带长度都有良好的线性关系。加入 PBE 和 POE 后,共混物的有限单位断裂能和耗散能密度显著增加。PP/PBE 共混物的脆-韧转变点出现在 PBE 含量为 5 份时,而 PP/POE 共混物则出现在 POE 含量为 5~10 份时。

参考文献

- [1] 李晓莲. 国内聚丙烯生产工艺技术及市场分析[J]. 广东化工, 2019, 46(4):111-112, 110.
Li Xiaolian. Domestic polypropylene production process technology and market analysis[J]. Guangdong Chemical Industry, 2019, 46(4):111-112, 110.
- [2] 梁晓亮. 汽车内饰中聚丙烯塑料的应用[J]. 塑料工业, 2019, 47(6):162-165.
Liang Xiaoliang. Application of polypropylene plastics in automotive interior[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(6):162-165.
- [3] Himma N F, Anisah S, Prasetya N, et al. Advances in preparation, modification, and application of polypropylene membrane[J]. Journal of Polymer Engineering, 2016, 36(4):329-362.
- [4] 赵兴科, 王苓, 郝洪波. 乙烯-辛烯共聚物增韧透明聚丙烯的研究[J]. 塑料制造, 2010(Z1):87-89.
Zhao Xingke, Wang Ling, Hao Hongbo. Study of the mechanical properties and compability of the PP/POE/LLDPE composite[J]. Plastics Manufacture, 2010(Z1):87-89.
- [5] Li Ke, Huang Hanxiong. Detecting impact toughness of polypropylene/poly(ethylene-co-octene) blends with various morphologies induced via chaotic and shear mixing[J]. Polymer Engineering & Science, 2012, 52(10):2 157-2 166.
- [6] Li Chunhai, Yang Shuo, Wang Jianfeng, et al. Unique impact behavior and toughening mechanism of the polypropylene and poly(ethylene-co-octene) alternating multilayered blends with superior toughness[J]. RSC Advances, 2014, 4(98):55 119-55 132.
- [7] Liang Jizhao, Zhu Bo, Ma Wenyong. Morphology and mechanical properties of PP/POE/nano-CaCO₃ composites[J]. Polymer Composites, 2016, 37(2):539-546.
- [8] 袁海兵. POE 增韧改性聚丙烯/滑石粉复合材料的研究[J]. 中国塑料, 2018, 32(3):33-36.
Yuan Haibing. Study on polypropylene/talc composites toughened by POE[J]. China Plastics, 2018, 32(3):33-36.
- [9] 卢颖, 彭宗林, 梁红梅, 等. 丙烯-乙烯共聚物 Vistamaxx 的结构性能表征[J]. 弹性体, 2007(4):9-12.
Lu Ying, Peng Zonglin, Liang Hongmei, et al. Structure and properties characterization for a novel propylene-ethylene copolymer Vistamaxx[J]. China Elastomerics, 2007(4):9-12.
- [10] Heidari A, Fasihi M. Cell structure-impact property relationship of polypropylene/thermoplastic elastomer blend foams[J]. EXPRESS Polymer Letters, 2019, 13(5):429-442.
- [11] Li Yang, Li Yi, Han Changyu, et al. Morphology and properties in the binary blends of polypropylene and propylene-ethylene random copolymers[J]. Polymer Bulletin, 2019, 76(6):2 851-2 866.
- [12] Wang Xiong, Hu Sheng, Guo Yi, et al. Toughened high-flow polypropylene with polyolefin-based elastomers[J]. Polymers, 2019, 11(12):doi:10.3390/polym11121976.
- [13] 彭志宏, 唐昌伟, 张旭文. 丙烯基弹性体对聚丙烯增韧改性的研究[J]. 合成材料老化与应用, 2015, 44(5):11-14.
Peng Zhihong, Tang Changwei, Zhang Xuwen. Study on propylene-based elastomer toughened polypropylene[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2015, 44(5):11-14.
- [14] Pustak A, Denac M, Škapin A S, et al. Mechanical and rheological properties of silica-reinforced polypropylene/m-EPR blends[J]. Journal of Polymer Research, 2016, 23(8):doi:10.1007/s10965-016-1062-x.
- [15] Wang Jianchuan, Geng Chengzhen, Luo Feng, et al. Shear induced fiber orientation, fiber breakage and matrix molecular orientation in long glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. Materials Science and Engineering: A, 2011, 528(7-8):3 169-3 176.
- [16] Cuesta I I, Martinez-Pañeda E, Díaz A, et al. The Essential work of fracture parameters for 3D printed polymer sheets[J]. Materials & Design, 2019, 181:doi:10.1016/j.matdes.2019.107968.
- [17] Hossain M M, Lee C F, Fiscus D M, et al. Physical assessment of essential work of fracture parameters based on m-LLDPE blown films[J]. Polymer, 2016, 96:104-111.

欢迎订阅 2020 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅 2020 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志, 订阅杂志及合订本光盘及过期刊物的读者可直接向杂志社办理订阅。《工程塑料应用》为月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版, 2020 年定价 20 元/期, 全年 240 元。《化学分析计量》为双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版, 2020 年定价 20 元/期, 全年 120 元。

电话: (0531)85878223 85878057 传真: (0531)85947355